

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-200682

(43)Date of publication of application : 10.08.1993

(51)Int.Cl.

B25J 5/00

B25J 9/10

B25J 13/08

G05D 1/08

(21)Application number : 03-355919

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 20.12.1991

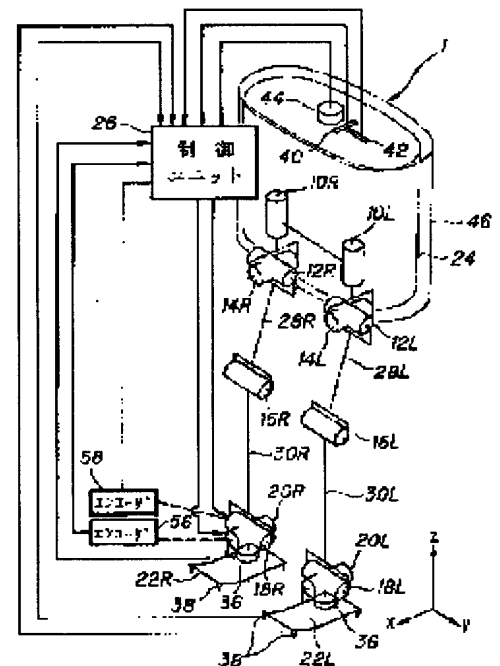
(72)Inventor : YOSHINO RYUTARO
TAKAHASHI HIDEO

(54) WALK CONTROLLER OF LEG TYPE MOBILE ROBOT

(57)Abstract:

PURPOSE: To recover the positional stabilization of a robot so quickly by installing a detecting means, detecting any external force acting on the robot, and also a compensating means for compensating a control value to drive its articulations according to the external force detected, respectively.

CONSTITUTION: This leg type mobile robot 1 is provided with a base body 24 and plural pieces of leg part links 28L, 28R, 30L, 30R being connected to the base body via articulations. External force acting on this robot 1 is detected by a detecting means 44. Next, a control value, driving articulations according to the detected external force, is compensated by a compensating means 26. In brief, each landing position of the legs is compensated according to the detected value which determines a robot traveling direction and another direction orthogonal with it on the basis of the value made up of multiplying even a factor being variably set to an integral value of the detected value according to a position on the track of swing legs.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.10.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3035051

[Date of registration] 18.02.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3035051号
(P3035051)

(45)発行日 平成12年 4 月17日 (2000. 4. 17)

(24)登録日 平成12年 2 月18日 (2000. 2. 18)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

B 2 5 J 5/00

B 2 5 J 5/00

F

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平3-355919

(22)出願日 平成 3 年12月20日 (1991. 12. 20)

(65)公開番号 特開平5-200682

(43)公開日 平成 5 年 8 月10日 (1993. 8. 10)

審査請求日 平成 9 年10月30日 (1997. 10. 30)

(73)特許権者 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号

(72)発明者 吉野 龍太郎

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式
会社本田技術研究所内

(72)発明者 高橋 英男

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式
会社本田技術研究所内

(74)代理人 100081972

弁理士 吉田 豊 (外 1 名)

審査官 佐々木 正章

(56)参考文献 特開 昭61-133408 (J P, A)

特開 平 3 -161290 (J P, A)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 脚式移動ロボットの歩行制御装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体と、それに関節を介して連結される複数本の脚部リンクとを有する脚式移動ロボットの歩行制御装置において、

a. 前記ロボットに作用する外力の大きさと作用位置とを検出する検出手段、及び

b. 検出された値に応じて前記脚部リンクのうち、遊脚の着地位置を決定する関節を駆動する制御値を補正する補正手段、

を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。 10

【請求項 2】 前記補正手段が、検出された外力に歩容の状態に応じて決定される所定の係数を用いて演算して得た値に基づいて前記関節を駆動する制御値を補正することを特徴とする請求項 1 項記載の脚式移動ロボットの

2

歩行制御装置。

【請求項 3】 前記補正手段が、検出された外力に外力の作用位置に応じて決定される所定の係数を用いて演算して得た値に基づいて前記関節を駆動する制御値を補正することを特徴とする請求項 1 項または 2 項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項 4】 前記所定の係数を、遊脚の軌道位置に応じて可変とすることを特徴とする請求項 2 項または 3 項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は脚式移動ロボットの歩行制御装置に関し、より具体的には 2 足歩行などの脚式移動ロボットにおいて、外力によって姿勢が崩れたとき遊脚の着地位置を補正して迅速に姿勢の安定を回復する

様にしたものに関する。

【0002】

【従来の技術】2足歩行のパーソナルロボットなど人間と共存することを予定されるロボットは、人間に押されたり、障害物に接触するなどして姿勢を崩すことが予想される。そのときに簡単に転倒してはロボット本来の機能を果たすことができない。特に2足歩行ロボットの場合には1方の足で自重を支持しつつ他方の足を遊脚として前方に駆動して歩行することから、片足立ちの時間が長く、これが大きな問題となる。

【0003】この様な2足歩行ロボットの姿勢制御は種々行われており、例えば第7回ロボット学会学術講演会において早稲田大学研究室より、ロボットに作用する外力を脚部リンクの脛部に配置した6軸力センサによって検出し、外力によって生じる姿勢の変化を検知して補正動作を行う技術が提案されている。また米国クレムソン大学より”IEEE, Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.19, No.1, 1989”において支持脚の足平と路面の角度から外力を検出し、同様にその外力によって生じる姿勢の変化を検知して補正する技術が提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来技術においては共に、外力によって生じる姿勢の変化を求めて補正動作を行うものであるため、補正動作が結果的に遅れる不都合があった。

【0005】従って、この発明の目的はその欠点を解消し、外力を受けたときに迅速に補正動作を行って安定した姿勢を速やかに回復する様にした脚式移動ロボットの歩行制御装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、基体と、それに関節を介して連結される複数本の脚部リンクとを有する脚式移動ロボットの歩行制御装置において、前記ロボットに作用する外力の大きさと作用位置とを検出する検出手段、及び、検出された値に応じて前記脚部リンクのうち、遊脚の着地位置を決定する関節を駆動する制御値を補正する補正手段を備える如く構成した。尚、この明細書において「歩行」なる語は、歩行状態のみならず、静止状態をも含むものとして使用する。

【0007】

【作用】ロボットに作用する外力の大きさと作用位置とを直接的に検出して脚部リンクのうち、遊脚の着地位置を決定する関節を駆動する制御値を補正する様にしたことから、迅速に姿勢の安定を回復することができる。

【0008】

【実施例】以下、脚式移動ロボットとして2足歩行ロボットを例にとってこの発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であ

り、左右それぞれの脚部に6個の関節(軸)を備える(理解の便宜のために各関節(軸)をそれを駆動する電動モータで例示する)。該6個の関節(軸)は上から順に、腰の脚部回旋用の関節(軸)10R、10L(右側をR、左側をLとする。以下同じ)、腰のピッチ方向(x方向)の関節(軸)12R、12L、同ロール方向(y方向)の関節(軸)14R、14L、膝部のピッチ方向の関節(軸)16R、16L、足首部のピッチ方向の関節(軸)18R、18L、同ロール方向の関節(軸)20R、20Lとなっており、その下部には足部22R、22Lが取着されると共に、最上位には胴体部(基体)24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0009】上記において股関節は関節(軸)10R(L)、12R(L)、14R(L)から構成され、また足関節は、関節(軸)18R(L)、20R(L)から構成されると共に、脚部リンクは左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節(軸)をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。尚、股関節と膝関節との間は大腿リンク28R、28Lで、膝関節と足関節との間は大腿リンク30R、30Lで連結される。これらの関節は主として先に述べた様に電動モータと、その出力を倍力する減速機を備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願(特願平1-324218号(特開平3-184782号))などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0010】ここで、図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足部を介してロボットに伝達されるx、y、z方向の力成分 F_x, F_y, F_z とその3軸回りのモーメント成分 M_x, M_y, M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足ヒラ(足裏)の四隅には公知の接地スイッチ38が設けられて、接地の有無を検出する。更に、胴体部24の上部には、一対の傾斜センサ40、42が設置され、x-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度、同様にy-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度を検出する。更に、胴体部24上にはその傾斜センサに隣接して外力センサ44が設置されて胴体部24に加わる外力を検出する。即ち、図2に良く示す様に、胴体部24の周囲にはカバー46が配置され、そのカバー46は外力センサ44を介して胴体部24に固定される。外力センサ44としては先に符号36で示した6軸力センサを用いると共に、胴体部24にそのセンサ44を強固に固定し、次いでセンサ44とカバー46とを強固に固定することによって、カバー46に作用する外力(力、モーメント)を検出できる様に構成する。これらセンサ36などの出力は前記した胴体部

24内の制御ユニット26に送られる。

【0011】図3は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40、42などの出力はA/D変換回路50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダ56、58などの出力はカウンタ60を介してRAM54内に入力されると共に、接地スイッチ38等の出力は波形整形回路62を経て同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPU64が設けられており、ROM66に格納されている歩行データを読み込んでカウンタ60から送出される実測値との偏差から電動モータの電流指令値を算出し、D/A変換回路68を介してサーボアンプ70に送出する。尚、符号76は進路、歩幅等の歩容変更指令用のジョイスティックを、符号78は原点（直立）姿勢決定用の原点スイッチを、符号80はオーバラン防止用のリミットスイッチを示す。

【0012】続いて、図4フロー・チャートを参照して本制御装置の動作を説明するが、具体的な説明に入る前に本制御の特徴を概説すると、図1に示したロボット1は予め定められた時系列の歩行データ、例えば重心位置、着地位置などのデータに従って各関節角をリアルタイムに計算し、両足支持期と片足支持期とを交互に繰り返しつつ歩行する。その片足支持期に図5に示す様に横方向（図1に示した様に進行（ピッチ）方向をx方向とするとy方向）から外力Fyを受けた場合、前記した外力センサ44（6軸力センサ）の検出値から図示の式に従ってモーメントMを算出し、続いて図6に示す様に外力が作用し続ける間モーメントの積分値（力積）を算出し、それに所定の係数nを乗じて遊脚の着地補正量（距離） ΔX 、 ΔY を算出する。ここでx方向に進行中にy方向から外力Fyを受けたとき、発生するモーメントMはx軸回りの値Mxのみに止まらず、y軸回りにも値Myを生ずるので、遊脚着地補正量はそれらに応じてx方向の補正距離 ΔX とy方向の補正距離 ΔY とを算出し、それに係数nを乗じて得た値を合算して決定する。図7は係数nの特性を示しており、図示の如く、係数nは遊脚の軌道上の位置に従って可変に設定すると共に、両足支持期、即ち着地時期に近づくに従って大きくなる様に設定する。これは、この係数をモーメントの積分値に乗じて補正量を決定することから、着地時期に近づくに従って補正速度を上げて姿勢回復を速くするためである。図8はこの制御動作を示すブロック線図であるが、外力を受けたときは、それに応じて今述べた様に決定される補正量 ΔX （Y）が設定歩行データX、Y（予め設定されたX、Y方向の着地位置）に加算され、それに基づいて目標関節角が計算される様に構成したので、補正量が増加するほど偏差が大きくなってモータの駆動トルクが大きく、結果的に遊脚駆動速度が速められる。尚、この

制御動作は同図に示す如く、図1に示したロボットをモデル化し、 $\tau = H_r \theta_r + H_d - F_p \theta - F_v \dot{\theta}$ ドットなる運動方程式において、実際角度 θ_r が目標角度 θ になる様にトルク τ を制御する手法を前提とする（ここで H_r 、 H_d 、 F_p 、 F_v は行列式を示す）。

【0013】上記した補正動作は簡単に言えば、図5において外力に応じて遊脚の着地位置を斜め後方に補正して姿勢の安定を回復するものである。尚、これは図9に示す様に、x方向、即ち、進行方向の前後から外力Fxを受けたとき、y軸回りのモーメントMyがほとんど全てとなる点を除けば、同様であって同図に示す式から補正量を算出し、斜め後（前）方に遊脚着地位置を補正する。尚、ロボット1の足部22の足裏面にはゴムなどの弾性体を貼りつけておいて路面との摩擦係合力を高めておき、x、y方向から外力を受けてもz軸回りにスピンしない様に構成する。

【0014】以上を前提として図4フロー・チャートの説明に入ると、S10で装置各部をイニシャライズした後、S12で歩行終了ではないことを確認し、S14に進んでデータ時刻t（n）に初期化する。続いて、S16に進んで時刻t（n）が歩行の1周期（両足支持期～片足支持期～両足支持期、人の場合で言えば1歩、を1周期とする）を超えないことを確認した後、S18に進んでタイマ割り込みを待ち、続いてS20で時刻t（n）の歩行データ（遊脚の着地位置など）を読み込む。続いてS22において外力を受けたときはモーメントMx、Myを検出し、S24で先に述べた積分計算を行い、S26で遊脚の位置補正量 ΔX 、 ΔY を計算し、S28で設定データX、Yに加算して補正し、S30で補正位置に応じた姿勢となるべく、12個の関節角を計算する。続いてS32で計算値を出力し、S34で時刻をインクリメントし、S16に戻る。S16で歩行の1周期を超えたと判断されるときはS12に戻り、歩行終了ではないと判断される限り、S14で時刻を合わせつつS16、S18以下をループすると共に、S12で歩行終了と判断されるときはS36で必要な事後処理を行って終わる。

【0015】この実施例においては上記の如く、胴体部（基体）に加わるモーメントを外力センサ（6軸力センサ）から検出し、それに応じて遊脚の着地位置をx（進行）方向とy（それに直交する）方向とに補正し、その補正位置に着地する様に関節駆動値を制御する様にしたので、外力を受けたときは迅速に安定した姿勢を回復することができ、また遊脚の着地位置を補正することから、大きな外力を受けたときも安定である。またモーメントの積分値を求め、それに遊脚の軌道上の位置に応じて着地付近になるほど大きくなる様に設定した係数nを乗じて遊脚着地補正量を決める様にしたので、外力が作用する間は外力の大きさに応じて姿勢回復に必要な修正量を適切に決定することができ、また着地付近で外力を

受ける場合は例えば離床付近で同一の外力を受けた場合に比して補正速度を上げる様にしたので、結果的により速く関節を駆動することとなり、片足支持期のどの位置で外力を受けても常に姿勢の安定を迅速に回復することができる。

【0016】図10以下はこの発明の第2の実施例を示しており、この場合には外力センサとして胴体部24の上部に6軸力センサを配置する代わりに、胴体部24の周囲に比較的廉価な圧電素子からなるセンサ44を複数個、図示例の場合には胴体部1面当たり9個、配置する。そしてこの配置位置に対応する座標を前記したROM66内に記憶しておくことにより、外力の作用位置を検出できる様にした。遊脚着地位置補正量は図11下部に示す式からほぼ第1実施例と同様に算出されるが、第1実施例と異なる点を説明すると、モーメントMについては圧電素子が検出した力Fと、その圧電素子の位置11に脚部リンク12を加算した値hを乗じて算出する。脚部リンク12の値は歩行時の姿勢によって相違することから、値hは近似値となり、よってモーメントMも近似値となる。この場合は力Fが作用する方向に直交する軸回りのモーメントしか検出することができないため、図11に示す様に、個々の圧電素子に応じて予めモーメント係数 k_x 、 k_y を設定してROM66内に格納しておき、その値を用いて図11下部に示す式から補正量 ΔX 、 ΔY を算出する。この例においても外力 F_x （ F_y ）の積分値を用いることは言うまでもない。第2実施例は、第1実施例に比して構成が簡易となる利点を有する。

【0017】尚、第1、第2実施例において積分値に係数nを乗じ、遊脚の軌道上の位置に応じて補正量を変える様にしたが、単に外力の積分値に応じて補正量を決定する様にしても良い。また第1、第2実施例において係数nを積分値に乘じる例を示したが、加算しても良い。

【0018】更に、第1、第2実施例ではモーメント M_x 、 M_y のみから補正量を決定する様にしたが、更にz軸回りのモーメント M_z を加えて補正量を決定しても良い。また外力に応じて遊脚の着地位置を補正する様にしたが、両足支持期に受けた外力に応じていずれかの足の接地位置を補正する様にしても良い。

【0019】更には、この発明を2足歩行の脚式移動ロボットについて説明したが、それに限られるものではなく、この発明は3足以上の脚式移動ロボットにも妥当するものである。

【0020】

【発明の効果】請求項1項にあっては基体と、それに関節を介して連結される複数本の脚部リンクとを有する脚式移動ロボットの歩行制御装置において、前記ロボットに作用する外力の大きさと作用位置とを検出する検出手段、及び、検出された値に応じて前記脚部リンクのうち、遊脚の着地位置を決定する関節を駆動する制御値を

補正する補正手段を備える如く構成したので、ロボットに作用する外力を直接的に検出して脚部リンクのうち、遊脚の着地位置を決定する関節を駆動する制御値を補正することができて、迅速にロボットの姿勢の安定を回復することができる。

【0021】請求項2項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置にあっては、前記補正手段が、検出された外力に歩容の状態に応じて決定される所定の係数を用いて演算して得た値に基づいて前記関節を駆動する制御値を補正する如く構成したので、離床直後に比して補正時間に余裕の少ない着地直前などにおいては同一外力であっても補正速度を上げることができ、結果的に関節の駆動速度を上げることができて速やかに姿勢の安定を回復することができる。

【0022】請求項3項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置にあっては、前記補正手段が、検出された外力に外力の作用位置に応じて決定される所定の係数を用いて演算して得た値に基づいて前記関節を駆動する制御値を補正する如く構成したので、例えば比較的廉価な圧電素子で作用する力を検出し、作用位置に応じて予め定めておいた係数とからモーメントを容易に求めることができ、簡易な構成でありながら正確に外力を求めて的確に姿勢の安定を回復することができる。

【0023】請求項4項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置にあっては、前記所定の係数を、遊脚の軌道位置に応じて可変とする如く構成したので、例えば着地時期が近づくに従って大きくなる様に設定することができ、それに向けて補正速度を上げることができて速やかに姿勢の安定を回復することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る脚式移動ロボットの歩行制御装置を全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示す脚式移動ロボットの外力センサの取り付け状態を示す一部断面正面図である。

【図3】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図4】この制御装置の動作を示すフロー・チャートである。

【図5】図1に示す脚式移動ロボットが進行方向に直交する方向から外力を受けたときの補正動作を示す説明図である。

【図6】図5の補正動作の補正量を決定する外力の積分特性を示す説明図である。

【図7】図5の補正動作の補正量を決定する外力の積分値に乗算する係数の特性を示す説明図である。

【図8】図4フロー・チャートの制御装置の動作を示すブロック線図である。

【図9】図5と同様のものであって図1に示す脚式移動ロボットが進行方向から外力を受けたときの補正動作を示す説明図である。

9

【図10】この発明の第2実施例を示す図2に類似する脚式移動ロボットの説明斜視図である。

【図11】図10に示す脚式移動ロボットの外力センサの取り付け状態を示す説明斜視図である。

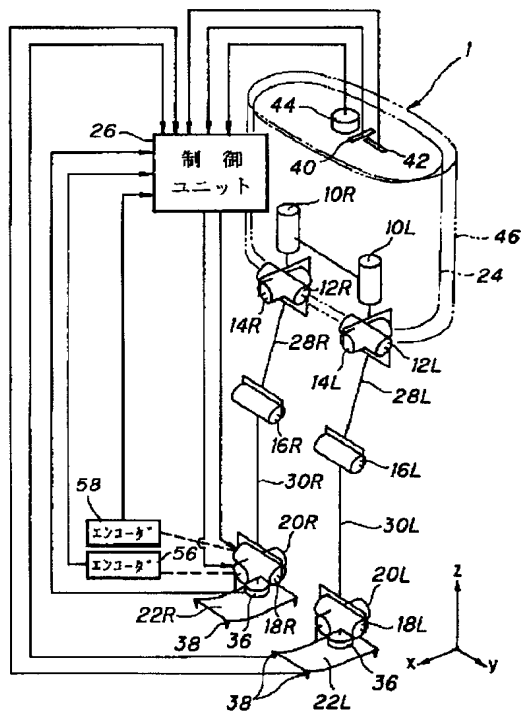
【符号の説明】

1 脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
 10R, 10L 脚部回旋用の関節（軸）
 12R, 12L 股部のピッチ方向の関節（軸） *
 * 14R, 14L 膝部のピッチ方向の関節（軸）
 16R, 16L 足首部のピッチ方向の関節（軸）
 18R, 18L 足首部のロール方向の関節（軸）
 20R, 20L 足部
 22R, 22L 胴体部
 24 制御ユニット
 26 外力センサ
 44 カバー

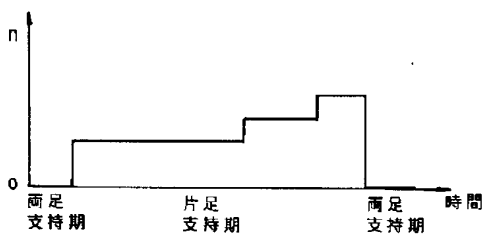
10

股部のロール方向の関節（軸）
 膝部のピッチ方向の関節（軸）
 足首部のピッチ方向の関節（軸）
 足首部のロール方向の関節（軸）
 足部
 胴体部
 制御ユニット
 外力センサ
 カバー

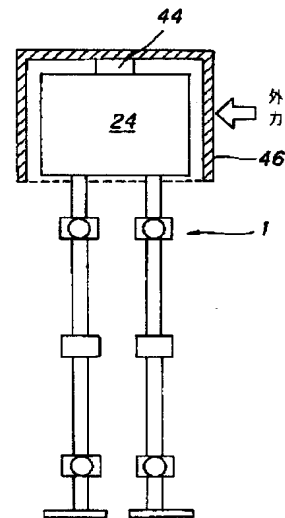
【図1】



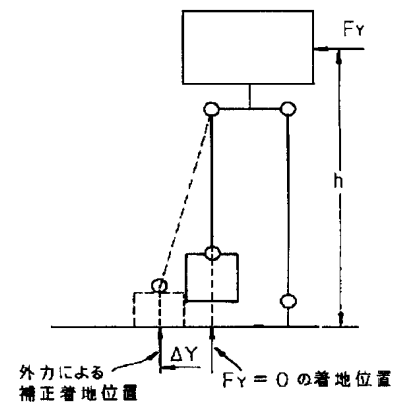
【図7】



【図2】



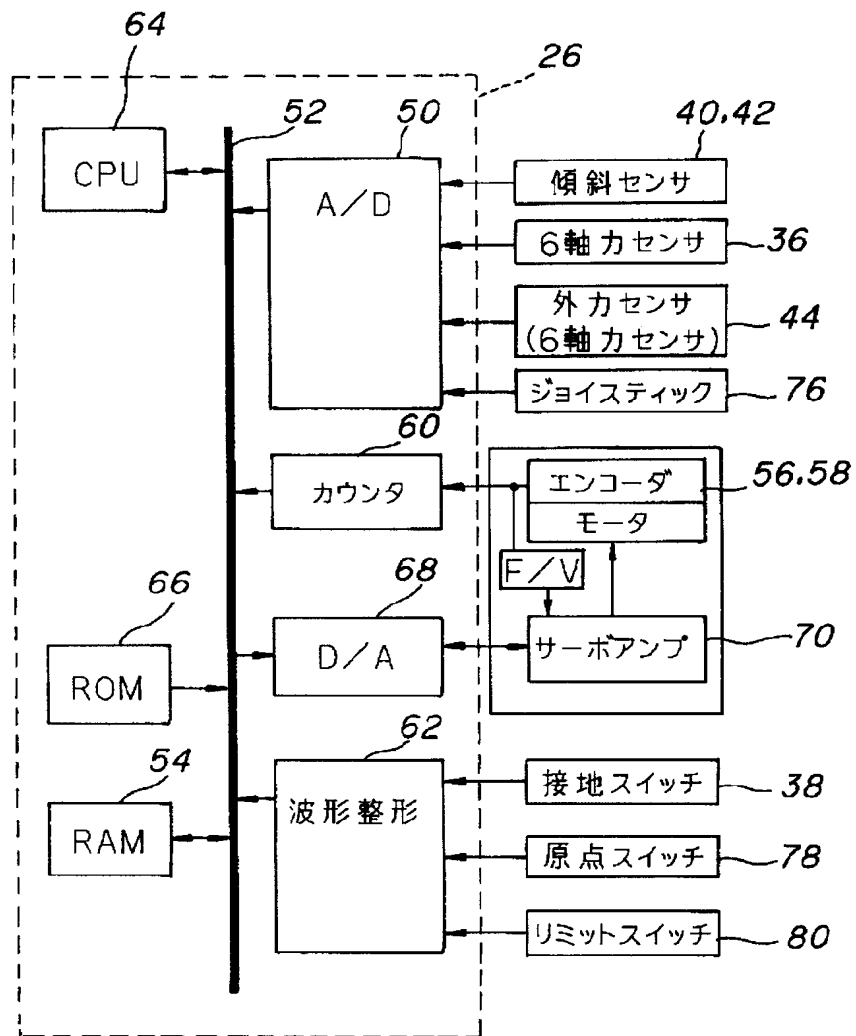
【図5】



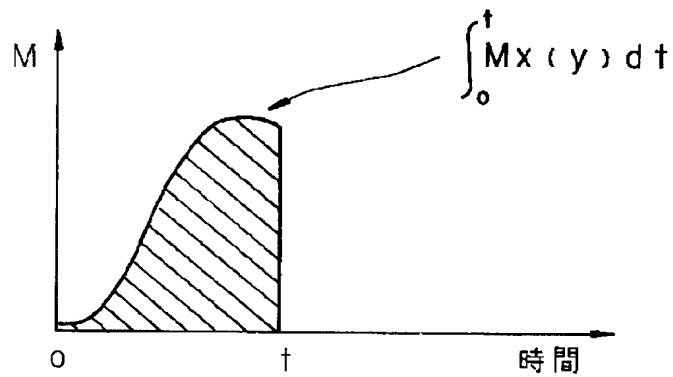
$$M = F \cdot h$$

$$\begin{cases} \Delta Y = n \int_0^t M_x \cdot dt \\ \Delta X = n \int_0^t M_y \cdot dt \end{cases}$$

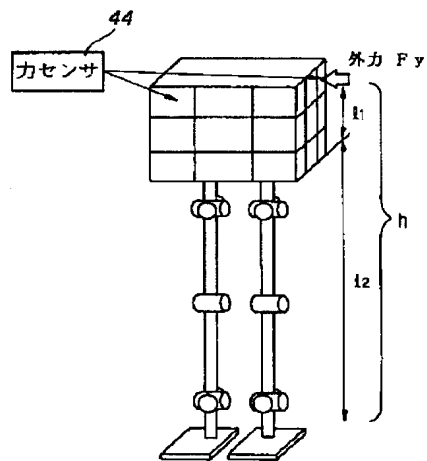
【図3】



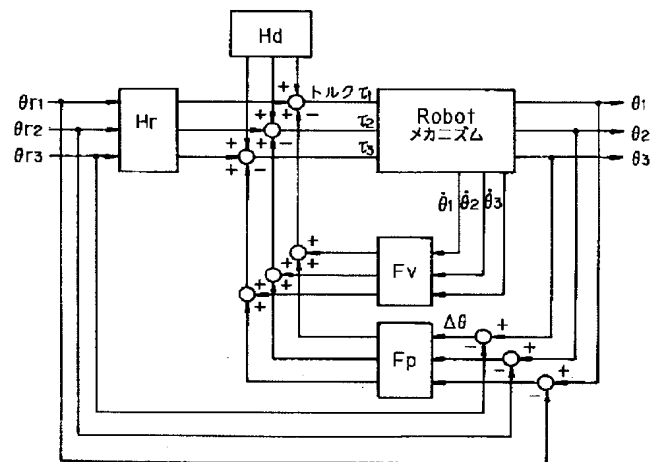
【図6】



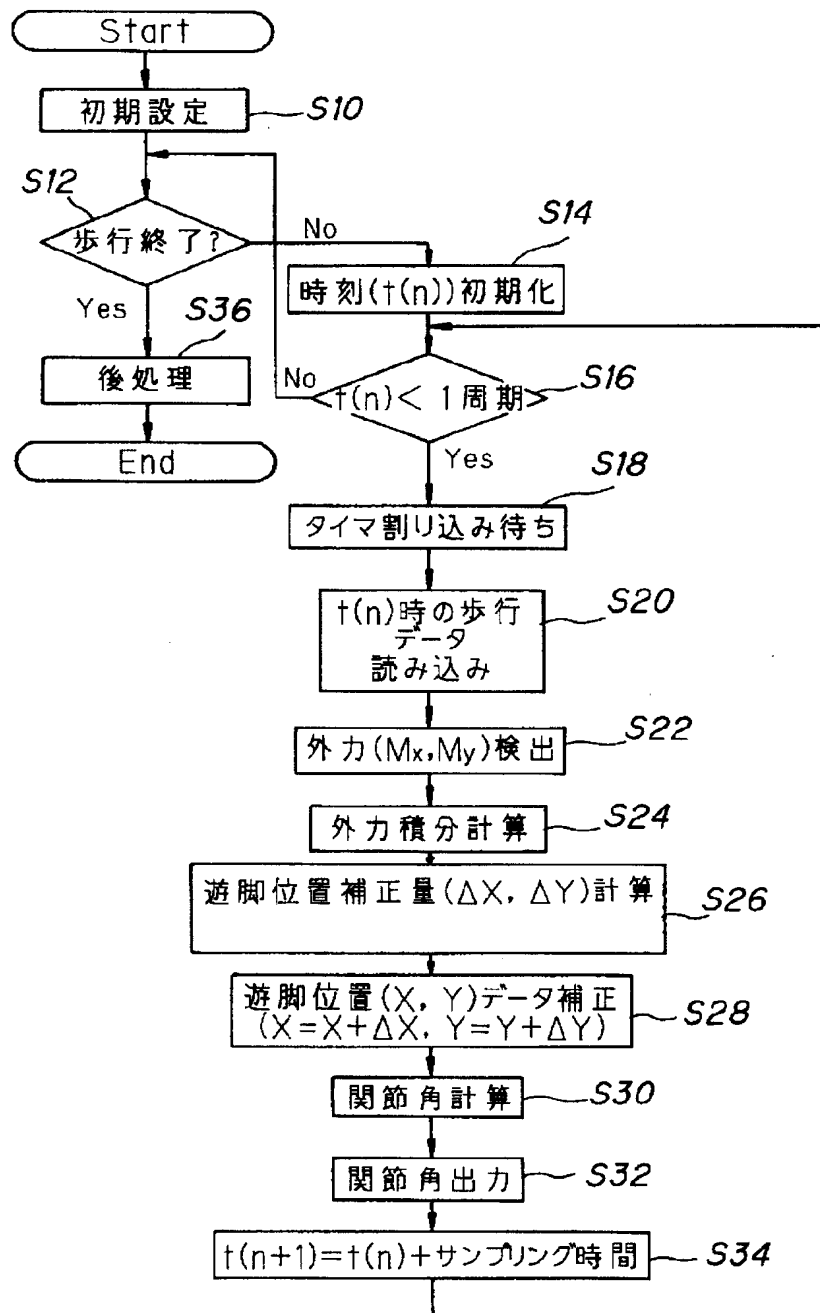
【図10】



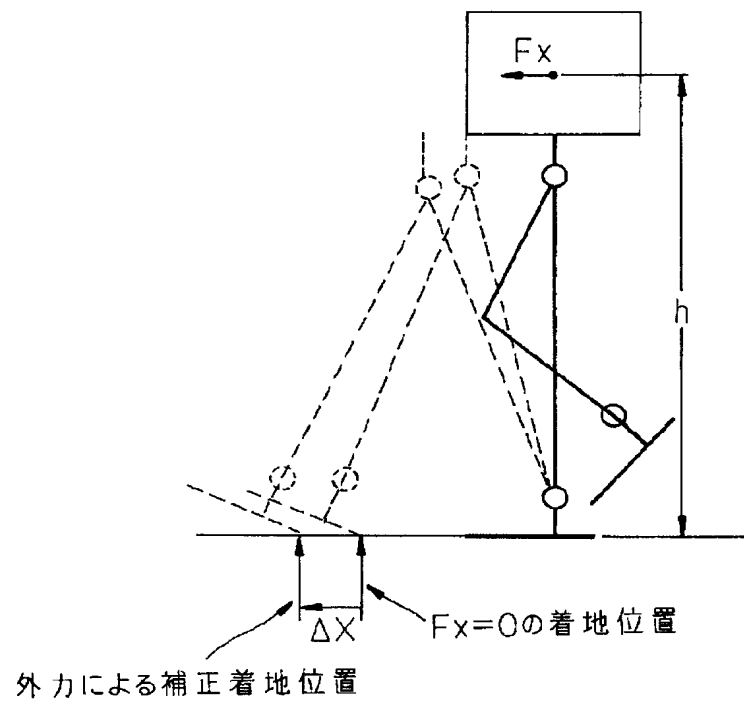
【図8】



【図4】



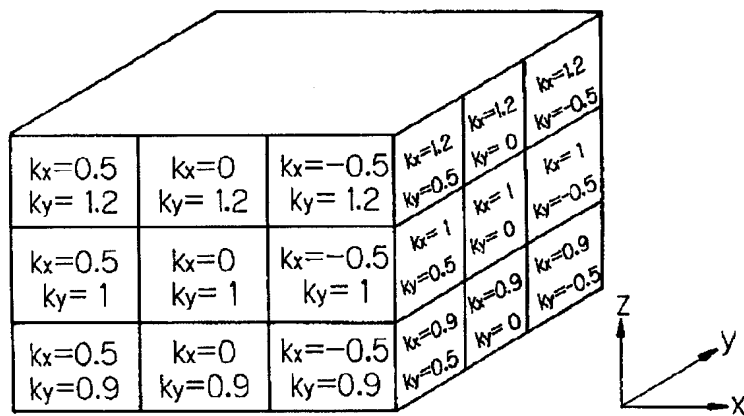
【図9】



$$M = F \cdot h$$

$$\begin{cases} \Delta X = n \int_0^t M_y \cdot dt \\ \Delta Y = n \int_0^t M_x \cdot dt \end{cases}$$

【図11】



$$M = F \cdot h$$

$$\Delta X = n \int_0^t k_x \cdot F_y \cdot dt$$

$$\Delta Y = n \int_0^t k_y \cdot F_y \cdot dt$$

$$\left(\begin{array}{l} \Delta X = n \int_0^t k_x \cdot F_x \cdot dt \\ \Delta Y = n \int_0^t k_y \cdot F_x \cdot dt \end{array} \right)$$

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

B25J 5/00